

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. September 2005 (15.09.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/086327 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H02K 33/16**,  
33/18, 41/03, 41/035, F04B 35/04

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/050998

(22) Internationales Anmeldedatum:  
7. März 2005 (07.03.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2004 010 846.3 5. März 2004 (05.03.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **BSH BOSCH UND SIEMENS HAUSGERÄTE  
GMBH** [DE/DE]; Carl-Wery-Str. 34, 81739 München  
(DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **REINSCHKE, Jo-  
hannes** [DE/DE]; Roritzer Str. 8, 90419 Nürnberg (DE).

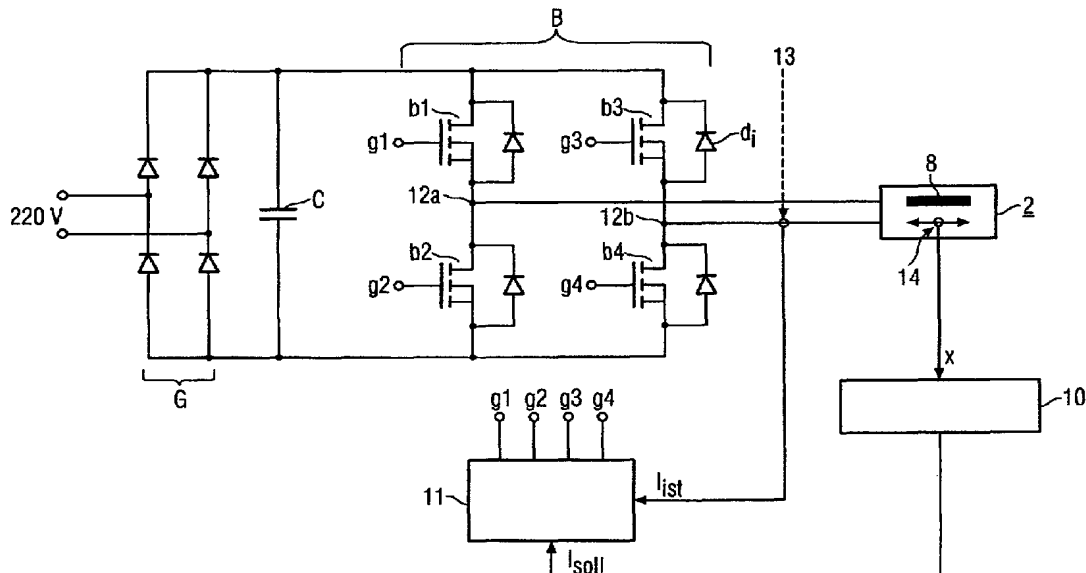
(74) Gemeinsamer Vertreter: **BSH BOSCH UND SIEMENS  
HAUSGERÄTE GMBH**; Carl-Wery-Str. 34, 81739  
München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,  
ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR ADJUSTING THE ARMATURE STROKE IN A REVERSIBLE LINEAR DRIVE UNIT

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR REGELUNG DES ANKERHUBS IN EINEM REVERSIERENDEN LINEARAN-  
TRIEB



(57) Abstract: The invention relates to a device for adjusting the armature stroke (H) in a reversible linear drive unit (2) comprising an excitation coil and an armature (8) displaceable in the magnetic field of the excitation coil according to a linear oscillating motion at a predefined armature stroke (H). The inventive device comprises systems for detecting the current armature position (x), systems for measuring the actual excitation coil current ( $I_{list}$ ) and systems for adjusting the excitation coil current ( $I_{soll}$ ) in such a way that the armature (8) is exactly supplied with electric energy for obtaining the aptitude of oscillations of the armature stroke (H) during each half-wave of the armature motion.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/086327 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

---

(57) **Zusammenfassung:** Die Vorrichtung dient zur Regelung des Ankerhubs (H) in einem reversierenden Linearantrieb (2) mit einer Erregerwicklung und Anker (8), der im Magnetfeld der Erregerwicklung in eine lineare, oszillierende Bewegung mit vorgegebenem Ankerhub (H) zu versetzen ist. Es sind Mittel zur Erfassung der aktuellen Ankerposition (x), Mittel zur Messung des aktuellen Erregerwicklungsstromes ( $I_{ist}$ ) und Mittel zur Einstellung des Erregerwicklungsstromes ( $I_{soll}$ ) derart vorgesehen, dass während jeder Halbwelle der Ankerbewegung dem Anker (8) elektrisch genau so viel Energie zugeführt wird, dass die Schwingungsamplituden des Ankerhubs (H) gerade erreicht werden.

## **Beschreibung**

### **Vorrichtung zur Regelung des Ankerhubs in einem reversierenden Linearantrieb**

[001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Regelung des Ankerhubs in einem reversierenden Linearantrieb, der mindestens eine mit einem Erregerwicklungsstrom zu beaufschlagende Erregerwicklung und einen magnetischen Anker enthält, der von einem Magnetfeld der Erregerwicklung in eine lineare, in einer axialen Richtung mit dem vorgegebenen Ankerhub oszillierende Bewegung zu versetzen ist. Ein entsprechender Linearantrieb geht aus der JP 2002-031054 A hervor.

[002] Entsprechende Linearantriebe werden insbesondere dafür eingesetzt, Pumpkolben von Verdichtern in eine lineare, oszillierende Bewegung bzw. Schwingung zu versetzen. Das System aus einem derartigen Verdichter mit zugeordneter Linearantrieb wird deshalb auch als Linearverdichter bzw. -kompressor bezeichnet (vgl. die eingangs genannte JP-A-Schrift). Bei entsprechenden bekannten Linearverdichtern bildet der gegebenenfalls über wenigstens ein Federelement aufgehängte, schwingungsfähige Anker ein Feder-Masse-System, das für eine bestimmte Schwingungsfrequenz bei gegebener Kraft-Weg-Kennlinie des Verdichters ausgelegt ist.

[003] Es sind verschiedene Verfahren zu einer Ankerpositionsregelung oder zu einer Ankerhubregelung in einem entsprechenden Linearverdichter bekannt. Bei den bekannten Verfahren wird jedoch in der Regel für eine Regelung des Ankerhubs auf eine direkte, kontinuierliche Ankerpositionsmessung verzichtet.

[004] Zu einer Erfassung der aktuellen Ankerposition wird bisher entweder diese nicht-kontinuierlich festgestellt, z.B. diskontinuierlich durch Schließen eines elektrischen Kontaktes, wenn der Anker eine bestimmte Position erreicht hat. Auch eine kontinuierliche Positionsmessung ist bekannt, z.B. über die in der Erregerwicklung induzierte Spannung.

[005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die Regelungsvorrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen dahingehend auszubilden, dass eine genaue Einstellung des Ankerhubs ermöglicht wird.

[006] Diese Aufgabe wird mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Demgemäß soll die Regelungsvorrichtung

- Mittel zur Erfassung der aktuellen Ankerposition,
- Mittel zur Messung des aktuellen Erregerwicklungsstroms
- und

- Mittel zur Einstellung des Erregerwicklungsstromes derart aufweisen, dass im eingeschwungenen Zustand des Ankers während jeder Halbwelle der Ankerbewegung dem Anker elektrisch genau so viel Energie zugeführt wird, dass die Schwingungsamplituden des vorgegebenen Ankerhubs gerade erreicht werden.

[007] Bei den erfindungsgemäßen Maßnahmen wird von der Überlegung ausgegangen, dass zur Erreichung eines gewünschten Ankerhubs, der sich aus den beiden Schwingungsamplituden zusammensetzt, pro Halbwelle dem Anker elektrisch eine gewisse Energiemenge zugeführt werden muss, und zwar während einer Expansionshalbwellen zur Vorspannung des wenigstens eines eventuell vorhandenen Federelementes, und während einer Kompressionshalbwellen zum Verrichten mechanischer Arbeit an dem Anker und an einem eventuell mit ihm verbundenen, beweglichen Verdichterteil. Selbst im eingeschwungenen Zustand sind die für die Kompressions- und Expansionshalbwellen benötigten Energiemengen in der Regel verschieden und nicht von vornherein bekannt. Beide Werte müssen statt dessen aus den tatsächlich sich einstellenden Schwingungsamplituden geschätzt werden.

[008] Die Grundüberlegung des erfindungsgemäßen Regelungskonzeptes besteht nun darin, dass eine (quasi) kontinuierliche Ankerpositionsmessung nicht nur die Messung des Ankerhubs, d.h. des Maximalausschlages, sondern auch eine Messung des elektrischen Energieeintrags in den Anker gestattet. Dies ist möglich, weil der elektrische Energieeintrag proportional zum Integral des Spulenstroms über die Ankerposition ist. Pro Halbwelle wird zum Zeitpunkt, zu dem genügend Energie elektrisch in den Anker eingeprägt worden ist, der Spulenstrom abgeschaltet. Mit jeder Richtungsumkehr des Ankers wird der Spulenstrom wieder zugeschaltet, wobei das Vorzeichen so ist, dass die Richtung der elektromagnetischen Kraft auf den Anker und dessen Bewegungsrichtung übereinstimmen. Daran schließen sich die Energiemessung und nachgelagert die Stromabschaltung von neuem an.

[009] Zusätzlich zu der Orts-/Positionsmessung kann pro Halbwelle an mindestens einer festen Position, einer sogenannten Triggerposition, die Geschwindigkeit und damit die kinetische Energie des Ankers bestimmt werden. Dabei wird bevorzugt die Triggerposition im Bereich der maximalen Geschwindigkeit des Ankers festgelegt. Für die Geschwindigkeitsmessung muss kein separater Sensor verwendet werden, sondern sie lässt sich aus der quasi kontinuierlichen Ortsmessung durch Differenziation ableiten. Weiterhin ist aus der Geschwindigkeitserfassung die Ermittlung der im Anker gespeicherten Energie

möglich.

- [010] Während der Expansionshalbwelle lassen sich aus den Orts- und Geschwindigkeitsmessungen an der mindestens einen Triggerposition, der Positionsmessung des von einem Verdichter abgewandten Totpunktes, an dem die Expansionshalbwelle endet, und der Messung der elektrisch in den Anker eingepprägten Energie Linearbetriebsparameter wie z.B. eine Federkonstante oder die Strom-Kraft-Übertragungskonstante abschätzen. Während der Kompressionshalbwelle lassen sich aus den entsprechenden Messungen Kompressorparameter wie die im Verdichter pro Zyklus verbrauchte mechanische Energie, die Differenz aus Ausblas- und Ansaugdruck am Verdichters und/oder die Kraft-Weg-Kennlinie des Verdichters bestimmen.
- [011] Mit dem erfindungsgemäßen Regelungskonzept sind folglich ein sicheres Anfahren eines Linearverdichters sowie ein sicherer Betrieb unter schwankenden äußeren Bedingungen, d.h. bei Schwankungen in der Kompressorkennlinie, möglich. Dabei ist mit "sicher" gemeint, dass der Kolben des Kompressors in der Kompressionsphase nicht überschwingt und an eine Kolbenplatte oder Ventilplatte anschlagen kann. Ferner kann mit dem Regelungskonzept das sogenannte Totvolumen des Kompressionsraumes des verbundenen Linearverdichters sehr genau geregelt werden; dies ist Grundvoraussetzung für einen hohen Gesamtwirkungsgrad, beispielsweise einer Kühlleistung, des Linearverdichters.
- [012] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Regelungseinrichtung gehen aus abhängigen Ansprüchen hervor. Dabei kann die Ausführungsform nach Anspruch 1 mit den Merkmalen eines der Unteransprüche oder vorzugsweise auch mit denen aus mehreren Unteransprüchen kombiniert werden. Demgemäß können für die Regelungsvorrichtung zusätzlich noch folgende Merkmale vorgesehen werden:
- So können die Stromeinstellungsmittel als Stellglied der Stromregelung eine Gleichrichterschaltung und eine nachgeordnete Brückenschaltung mit stellbaren Brückengliedern in sogenannter H-Anordnung umfassen. Dabei können bevorzugt als stellbare Brückenglieder MOSFETs vorgesehen sein.
  - Vorteilhaft ist der gemessene Erregerwicklungsstrom als eine Ist-Strom-Eingangsgröße einem den Brückengliedern zugeordneten Stromreglerbaustein zuzuführen, der die Brückenglieder so schaltet, dass das Ist-Stromsignal auf ein mit der aktuellen Ankerposition korreliertes, von einem Positionsreglerbaustein generiertes Soll-Stromsignal abgestimmt ist, vorzugsweise diesem folgt. Gegebenenfalls ist dabei dem Positionsreglerbaustein auch das Ist-Stromsignal zuzuführen.

- Statt der vorerwähnten Geschwindigkeits- und Energiebestimmung des Ankers mit Hilfe mindestens einer festen Triggerposition können besonders vorteilhaft auch Mittel zu einer kontinuierlichen Erfassung der Geschwindigkeit des Ankers(8) vorgesehen sein. Dabei lässt sich mit Hilfe entsprechender Mittel aus der Geschwindigkeitserfassung die im Anker gespeicherte Energie ableiten.
- Außerdem können auch Mittel zu einer Regelung der Schwingungsfrequenz des Ankers vorgesehen sein. Diese Mittel können die Signale der Positions – und gegebenenfalls der Geschwindigkeitsmessung ausnutzen.

[013] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Regelungseinrichtung gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen Unteransprüchen hervor.

[014] Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Zeichnung noch weiter erläutert. Von deren Figuren zeigen

[015] Figur 1 stark schematisiert im Querschnitt einen Teil durch eine an sich bekannte lineare Linearantrieb,

[016] deren Figur 2 ein Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform einer Regelungsvorrichtung nach der Erfindung und

[017] deren Figur 3 ein Blockschaltbild einer weiteren Ausführungsform einer solchen Regelungsvorrichtung.

[018] In den Figuren sind sich entsprechende Teile jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen.

[019] Bei der in Figur 1 angedeuteten linearen Linearantrieb wird von an sich bekannten Ausführungsformen ausgegangen, wie sie für Linearverdichter vorgesehen werden (vgl. die eingangs genannte JP-A-Schrift). Die Figur zeigt schematisch im Wesentlichen nur den oberen Teil eines Querschnitts durch eine solche Linearantrieb 2; d.h., in der Figur sind nur die Einzelheiten dargestellt, die sich auf einer Seite einer Symmetrieachse oder –ebene S, die sich in einer axialen Bewegungsrichtung erstreckt, befinden. Die Linearantrieb 2 umfasst mindestens eine Erregerwicklung 4, der wenigstens ein magnetflussführender Jochkörper 5 zugeordnet ist. In einer zentralen, kanalartigen oder schlitzzartigen Öffnung 7 dieses Jochkörpers befindet sich ein magnetischer Anker oder Ankerteil mit beispielsweise zwei Permanentmagneten, deren Magnetisierungsrichtungen durch gepfeilte Linien m1 und m2 angedeutet sind. Der auch als “Ankerschlitten” bezeichnete Anker weist axial seitliche, nicht näher ausgeführte Verlängerungsteile auf. Er kann in dem magnetischen Wechselfeld der

Wicklung 4 in axialer Richtung eine oszillierende Bewegung ausführen, wobei er um eine Mittenposition  $M_p$  schwingt. Die maximale Auslenkung aus der Mittenposition in axialer Richtung  $x$ , d.h. die Schwingungsamplitude, ist mit  $+L_1$  bzw.  $-L_2$  bezeichnet. Der Ankerhub  $H$  ist folglich  $(L_1 + L_2)$ .

[020] Wie ferner in der Figur angedeutet ist, können gegebenenfalls zwei ortsfest eingespannte Blattfedern 9 und 9' zu beiden Seiten der Mittenposition  $M_p$  an verlängerten Teilen des Ankers 8 mit ihren schwingungsfähigen Angriffspunkten A bzw. A' angreifen. Selbstverständlich sind auch Ausführungsformen einer Linearantrieb ohne Federn möglich. Ferner kann vorteilhaft an zumindest einer Seite des Verlängerungsteils des Ankers 8 dieser starr mit einem in der Figur nicht näher dargestellten Verdichter V bzw. dessen Pumpkolben verbunden sein.

[021] Bei der in der Figur dargestellten Ausführungsform wurde ferner davon ausgegangen, dass die Linearantrieb 2 symmetrisch zu der Ebene S aufgebaut ist, d.h., dass, zu beiden Seiten der Ebene sich Jochkörper und gegebenenfalls auch Erregerwicklungsteile befinden. Selbstverständlich kann man für eine erfindungsgemäße Regelungsvorrichtung auch eine Linearantrieb vorsehen, die nur auf einer Seite eine Erregerwicklung und gegebenenfalls auf der gegenüberliegenden Seite nur einen magnetflussführenden Jochkörperteil (vgl. z.B. US 6 323 568 B1) besitzt. Neben der dargestellten E-Form des Jochkörpers sind auch andere Jochkörpertypen wie z.B. mit M-Form geeignet.

[022] Bei einer Verbindung des Ankers 8 der Linearantrieb 2 mit einem Pumpkolben eines Verdichters V ist der Ankerenergieschwellwert  $E_s$  für die Expansions- und die Kompressionshalbwellen im Allgemeinen verschieden; d.h., es sind eigentlich zwei Ankerenergieschwellwerte, nämlich  $E_{s,exp}$  und  $E_{s,comp}$ , zu unterscheiden. Diese beiden Ankerenergieschwellwerte ändern sich zeitlich aufgrund der zeitlichen Änderungen der Kraft-Weg-Kennlinie des Verdichters, wobei die Änderungen langsam im Vergleich zur Schwingungsperiodendauer der Linearantrieb sind. Aus diesem Grunde ist eine der eigentlichen Hubregelung überlagerte Adaption beider Werte sinnvoll und möglich.

[023] Zur Regelung des Ankerhubs  $H$  bzw. der Schwingungsamplituden  $+L_1$  und  $-L_2$  dient eine Regelungsvorrichtung, mit der der Strom in der Erregerwicklung 4 eingestellt wird. Das Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform einer solchen Regelungsvorrichtung geht aus Figur 2 hervor. In der Figur sind bezeichnet

[024] mit G eine Gleichrichterschaltung z.B. in Form einer Brückenschaltung,  
 – mit C ein Glättungskondensator,

- mit B eine Konverterschaltung in Form einer sogenannten Voll-Brücke,
- mit b1 bis b4 die vier Brückenglieder dieser Konverterschaltung in sogenannter H-Anordnung,
- mit 10 ein Positionsreglerbaustein
- und
- mit 11 ein Stromreglerbaustein.

[025] Als Brückenglieder b1 bis b4 kommen insbesondere MOSFETs (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors) mit Schutzdioden  $d_i$  in Frage. Ihre Steuerelektroden bzw. Steuergates sind mit g1 bis g4 bezeichnet. Sie sind mit entsprechenden Ausgängen des Stromreglerbausteins 11 verbunden. An Brückenabgriffpunkten 12a und 12b der Brückenschaltung B wird der Erregerstrom für die Erregerwicklung der Linearantrieb 2 abgenommen. Dabei erfolgt eine Bestimmung eines mit  $I_{ist}$  bezeichneten Ist-Stromes der Wicklung durch Messung des Spannungsabfalls über

- einem im Brückenpfad mit der Wicklung in Serie geschalteten Shunt-Widerstands, oder
- zwei Shunt-Widerstände, die sich zwischen den Brückengliedern  $b_2$  und  $b_4$  und Masse befinden.

[026] Die Messgröße dieses Stromes wird dann dem Stromregler 11 an einem Anschlusspunkt 13 in der Stromzuführungsleitung der Erregerwicklung zugeführt. Bei dem Stromregler 11 kann es sich beispielsweise um einen bekannten PWM( Pulse Width Modulation)-Baustein handeln. Alternativ lässt sich auch als Stromregler ein an sich bekannter Zweipunktregler mit fester Taktfrequenz von z.B. 20 kHz verwenden.

[027] An der Linearantrieb 2 ist eine nicht näher ausgeführte, an sich bekannte Messeinrichtung 14 angebracht, mit der die genaue aktuelle Position x und die Bewegungsrichtung des Ankers 8 der Apparatur zu detektieren ist. Deren Messwert x wird dem Positionsreglerbaustein 10 zugeführt, der aus der Position x und daraus abgeleiteter Größen wie insbesondere der Ankergeschwindigkeit einen Soll-Strom  $I_{soll}$  errechnet und diesen dem Stromreglerbaustein 11 zuführt. Der Stromreglerbaustein sorgt dann dafür, dass mittels Ansteuerung der Steuergates g1 bis g4 eine gute Übereinstimmung zwischen dem Soll-Strom  $I_{soll}$  und dem Ist-Strom  $I_{ist}$  gegeben ist.

[028] Das in Figur 3 wiedergegebene Blockschaltbild einer weiteren erfindungsgemäßen Regelungsvorrichtung unterscheidet sich von dem nach Figur 2 lediglich dadurch, dass hier der gemessene Strom  $I_{ist}$  auch Eingangsgröße für den gegenüber Figur 2 modifizierten Positionsreglerbaustein 10' ist. Bei dieser Ausführungsform können zwar deutlichere Abweichungen zwischen dem Soll-Strom  $I_{soll}$  und dem Ist-Strom  $I_{ist}$



auftreten; der Stromreglerbaustein 11 ist jedoch auch hier durch entsprechende Einstellungen in der Lage, den Strom in der gewünschten Weise abzuschalten.

[029] Nachfolgend ist der Algorithmus für eine Positionsregelung bei den Vorrichtungen nach den Blockschaltbildern gemäß den Figuren 2 und 3 angedeutet:

- Die auf dem Anker 8 wirkende elektromagnetische Kraft  $F$  ist stets proportional zum Ist-Spulenstrom  $I_{\text{ist}}$ ; d.h.

[030]  $F = K \cdot I_{\text{ist}}$ , wobei  $F$ ,  $k$  und  $I_{\text{ist}}$  von der Position  $x$  abhängen.

- Bei Änderung der Bewegungsrichtung des Ankers wird der Spulenstrom umgekehrt, so dass dann die elektromagnetische Kraft  $F = K \cdot I_{\text{ist}}$  in Bewegungsrichtung  $x$  wirkt.
- Entweder kontinuierlich oder mit Hilfe mindestens eines besonderen Triggersignals, das z.B. dem Nulldurchgang der Ankerbewegung zugeordnet ist und vorteilhaft in der Nähe der Ankerposition mit der maximalen kinetischen Energie liegt, werden die potentielle und die kinetische Energie des Ankers aus der momentanen Positions- und Geschwindigkeitsmessung bestimmt.
- Die pro Schwingungshalbwelle dem Anker zugeführte Energie wird berechnet über die Gleichung

$$\int F(x)dx = \int K(x)I(x) dx.$$

- Erreicht die Ankerenergie einen Schwellwert  $E_{\text{s,comp}}$  bzw.  $E_{\text{s,exp}}$ , der der gewünschten Schwingungsamplitude  $+L_1$  bzw.  $-L_2$  entspricht, wird der Strom  $I$  abgeschaltet.

[031] Neben diesem Grundalgorithmus ist ein überlagerter Adaptionalgorithmus denkbar, bei dem durch Vergleich der gemessenen Schwingungsamplitude  $+L_1$  bzw.  $-L_2$  mit der entsprechenden Soll-Amplitude der Ankerenergieschwellwert  $E_{\text{s,comp}}$  bzw.  $E_{\text{s,exp}}$  adaptiert wird.

[032] Das in den Blockschaltbildern realisierte Regelungskonzept weist also folgende Hauptelemente auf:

1. Messgrößen:  
Position  $x$ , Bewegungsrichtung und daraus abgeleitet die Geschwindigkeit des Ankers 8; Strom  $I_{\text{ist}}$ .
2. Stellgröße:  
Erregerspulenstrom. Hier sind mehrere Stellgliedvarianten für die Stromregelung denkbar, wobei abhängig vom Stellglied Ist- und Soll-Strom

unterschiedlich stark voneinander abweichen können.

3. Regelungsprinzip:

Erregerwicklungsstrom wird so geschaltet, dass die elektromagnetische Kraft auf den Anker (fast) immer in Ankerbewegungsrichtung wirkt; Messung der elektrisch in den Anker pro Schwingungshalbwelle eingeprägten Energie; Stromabschaltung, wenn Energieschwellwert erreicht ist.

[033] Vorteile dieses Regelungsprinzips:

Ein elektrisches Bremsen des Ankers wird weitgehend vermieden; daraus folgt ein guter Wirkungsgrad.

Die Frequenz der Ankerschwingung ist zwar weitgehend durch bewegte Masse sowie Federkonstante eventuell vorhandener Feder(n) und Kraft-Weg-Kennlinie des verbundenen Verdichters festgelegt, kann aber durch Wahl des duty cycle mittels Stromregelung modifiziert werden: Wirkt nach einer Bewegungsumkehr ein höherer Strom über ein kürzeres Wegstück, so erhöht sich – bei gleichbleibendem elektrischen Energieeintrag pro Schwingungshalbwelle – die Schwingungsfrequenz.

- [034] Bezugszeichenliste
- [035] 2 Linearantrieb
- [036] 4 Erregerwicklung
- [037] 5 Jochkörper
- [038] 7 Spalt
- [039] 8 Anker
- [040] 9, 9' Federelemente
- [041] 10, 10' Positionsreglerbaustein
- [042] 11 Stromreglerbaustein
- [043] 12a, 12b Brückenabgriffpunkte
- [044] 13 Anschlusspunkt
- [045] S Symmetrieebene
- [046] m1, m2 Magnetisierungsrichtungen
- [047] A, A' Federangriffspunkte
- [048] H Ankerhub
- [049] x axiale Position
- [050]  $+L_1$ ,  $-L_2$  Schwingungsamplituden
- [051] V Verdichter
- [052] Mp Mittenposition
- [053] G Gleichrichterschaltung

- [054] C Glättungskondensator
- [055] B Brückenschaltung
- [056] b1 bis b4 MOSFET-Brückenglieder
- [057] g1 bis g4 Steuergates
- [058] d Schutzdioden
- [059]  $I_i$  Ist-Strom
- [060]  $I_{ist}$  Soll-Strom
- [061]  $I_{soll}$

## Ansprüche

- [001] 1. Vorrichtung zur Regelung des Ankerhubs in einem reversierenden Li-nearantrieb, die mindestens eine mit einem Erregerwicklungsstrom zu beaufschlagende Erregerwicklung und einen magnetischen Anker enthält, der von einem Magnetfeld der Erregerwicklung in eine lineare, in einer axialen Richtung mit dem vorgegebenen Ankerhub oszillierende Bewegung zu versetzen ist, mit Mitteln zur Erfassung der aktuellen Ankerposition (x), mit Mitteln zur Messung des aktuellen Erregerwicklungsstromes ( $I_{\text{ist}}$ ) und mit Mitteln zur Einstellung des Erregerwicklungsstromes ( $I_{\text{soll}}$ ) derart, dass im eingeschwungenen Zustand des Ankers (8) während jeder Halbwelle der Ankerbewegung dem Anker (8) elektrisch genau so viel Energie zugeführt wird, dass die Schwingungsamplituden ( $+L_1$ ,  $-L_2$ ) des vorgegebenen Ankerhubs (H) gerade erreicht werden.
- [002] Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Anker (8) schwingungsfähig über wenigstens ein Federelement (9, 9') gehalten ist.
- [003] Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Strom Einstellungsmittel als Stellglied der Stromregelung eine Gleichrichterschaltung (G) und eine nachgeordnete Brückenschaltung (B) mit stellbaren Brückengliedern (b1 bis b4) in H-Anordnung umfassen.
- [004] Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die stellbaren Brückenglieder (b1 bis b4) MOSFETs sind.
- [005] Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass der gemessene Erregerwicklungsstrom als eine Ist-Strom-Eingangsgröße ( $I_{\text{ist}}$ ) einem den Brückengliedern (b1 bis b4) zugeordneten Stromreglerbaustein (11) zuzuführen ist, der die Brückenglieder so schaltet, dass das Ist-Stromsignal ( $I_{\text{ist}}$ ) auf ein mit der aktuellen Ankerposition (x) korrelierten, von einem Positionsregelbaustein (10, 10') generiertes Soll-Stromsignal ( $I_{\text{soll}}$ ) abgestimmt ist, vorzugsweise diesem folgt.
- [006] Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass dem Positionsregelbaustein (10') auch das Ist-Stromsignal ( $I_{\text{ist}}$ ) zuzuführen ist.
- [007] Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zu einer Erfassung der Bewegungsrichtung des Ankers(8) vorgesehen sind.
- [008] Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch ge-

kennzeichnet, dass Mittel zu einer kontinuierlichen Erfassung der Geschwindigkeit des Ankers(8) vorgesehen sind.

[009] Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass an mindestens einer festen Stelle innerhalb des Ankerhubweges eine Triggerposition zu einer Geschwindigkeitsmessung vorgesehen ist.

[010] Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Triggerposition im Bereich der maximalen Geschwindigkeit des Ankers (8) vorgesehen ist.

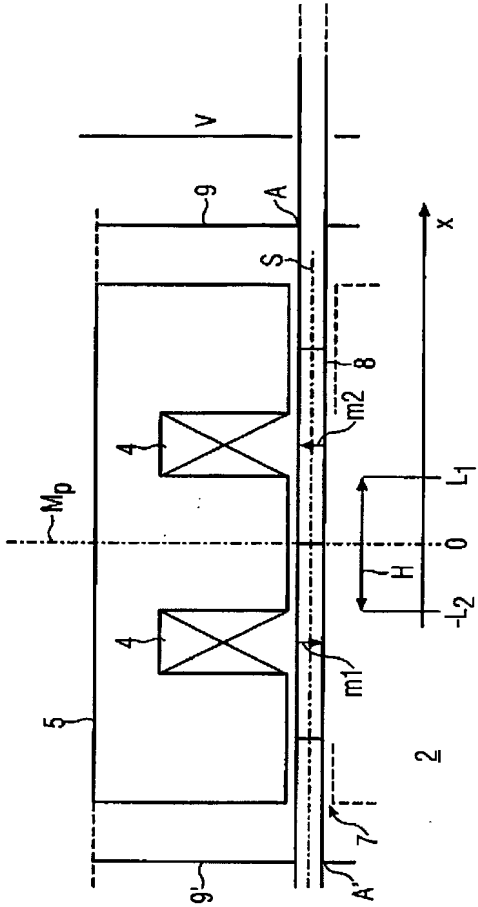
[011] Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zu einer Ableitung der in dem Anker (8) gespeicherten Energie aus der Geschwindigkeitserfassung vorgesehen sind.

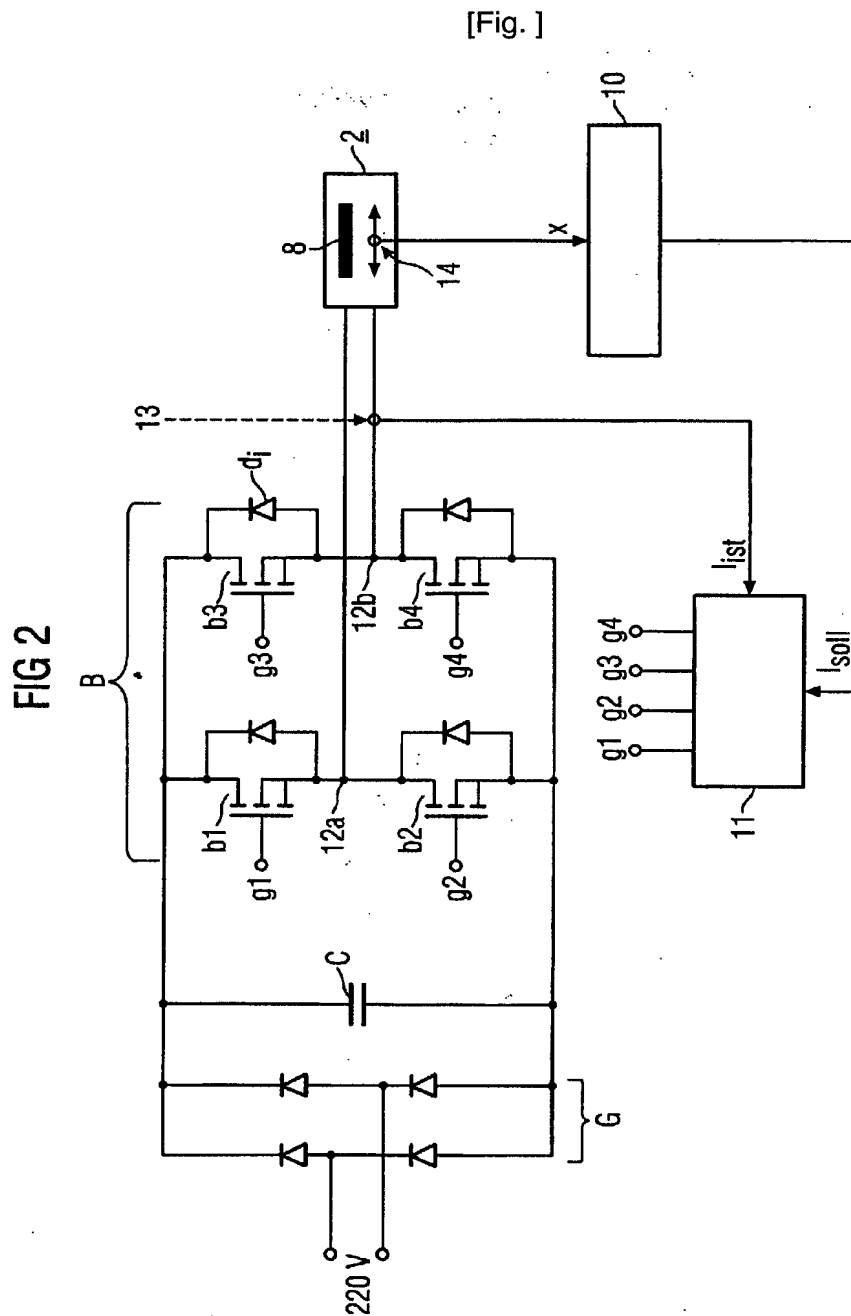
[012] Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zu einer Regelung der Schwingungsfrequenz des Ankers(8) vorgesehen sind.

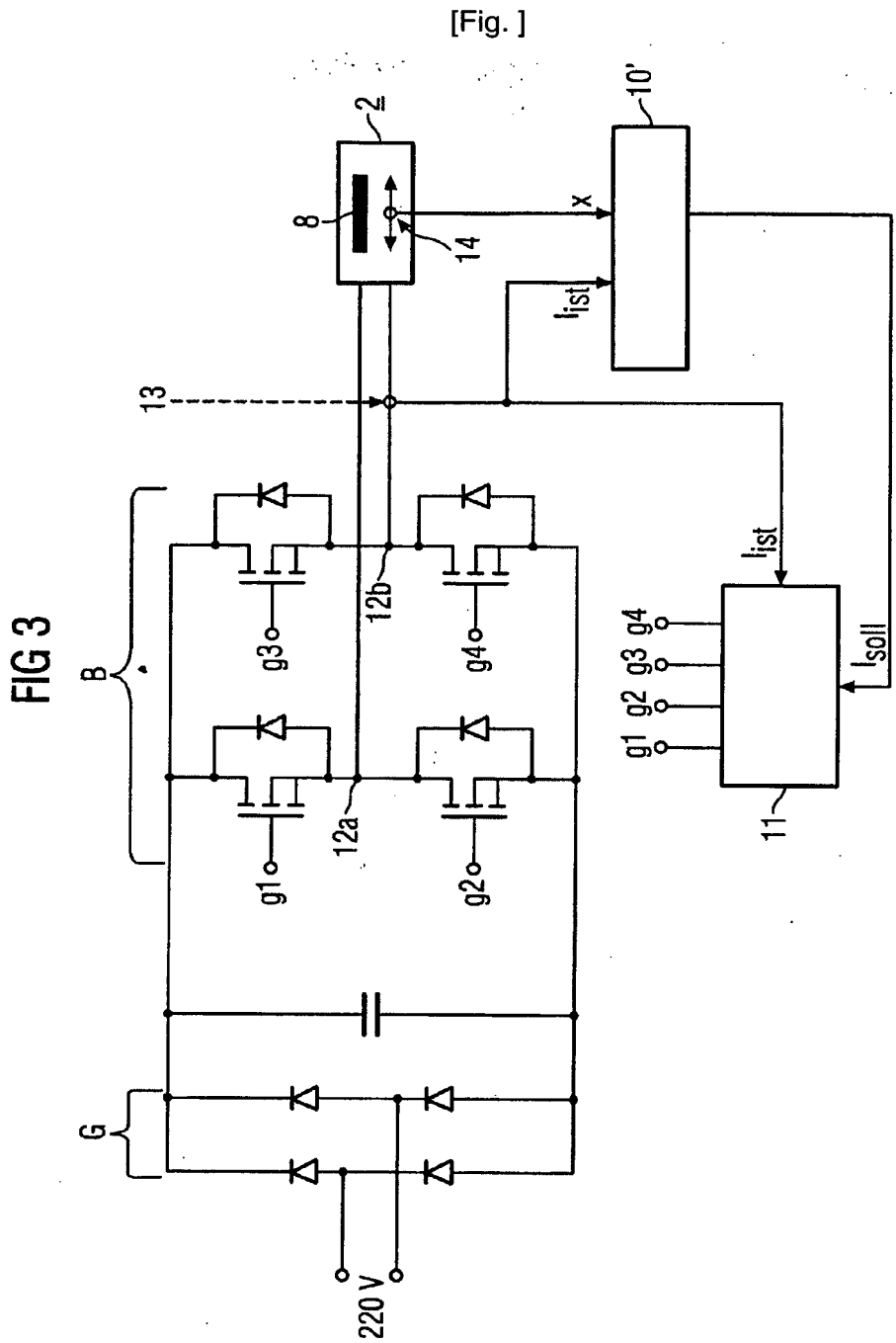
[013] Vorrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Anker (8) starr mit einem Pumpkolben eines Verdichters (V) verbunden ist.

[Fig. ]

FIG 1









# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP05/050998

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H02K33/16 H02K33/18 H02K41/03 H02K41/035 F04B35/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H02K F04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 980 211 A (TOJO ET AL) 9 November 1999 (1999-11-09) column 14, lines 18-44; figures 3,4,18 column 24, lines 17-59; figures 1,24,25,28,29,33	1
X	column 25, lines 24-54; figures 2,3,6,8,24,31	2-13
A	US 5 736 797 A (MOTOHASHI ET AL) 7 April 1998 (1998-04-07) figures 1,4-6	1-13
A	US 2002/121816 A1 (QIU SONGGANG ET AL) 5 September 2002 (2002-09-05) figures 2,3,6	1



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 August 2005

Date of mailing of the international search report

10/08/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kanelis, K

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internati Application No  
PCT/EP2005/050998

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5980211	A	09-11-1999	JP	3177443 B2	18-06-2001
			JP	9287558 A	04-11-1997
			JP	3118413 B2	18-12-2000
			JP	9291889 A	11-11-1997
			JP	3177448 B2	18-06-2001
			JP	10026083 A	27-01-1998
			JP	3177457 B2	18-06-2001
			JP	10115290 A	06-05-1998
			JP	3177459 B2	18-06-2001
			JP	10122141 A	12-05-1998
			JP	3177460 B2	18-06-2001
			JP	10122142 A	12-05-1998
			CN	1168965 A	31-12-1997
US 5736797	A	07-04-1998	JP	3382061 B2	04-03-2003
			JP	8331826 A	13-12-1996
			CN	1150716 A ,C	28-05-1997
			DE	19621598 A1	05-12-1996
US 2002121816	A1	05-09-2002	US	2005082994 A1	21-04-2005

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internati Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050998

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H02K33/16 H02K33/18 H02K41/03 H02K41/035 F04B35/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H02K F04B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 980 211 A (TOJO ET AL) 9. November 1999 (1999-11-09) Spalte 14, Zeilen 18-44; Abbildungen 3,4,18 Spalte 24, Zeilen 17-59; Abbildungen 1,24,25,28,29,33	1
X	Spalte 25, Zeilen 24-54; Abbildungen 2,3,6,8,24,31	2-13
A	----- US 5 736 797 A (MOTOHASHI ET AL) 7. April 1998 (1998-04-07) Abbildungen 1,4-6	1-13
A	----- US 2002/121816 A1 (QIU SONGGANG ET AL) 5. September 2002 (2002-09-05) Abbildungen 2,3,6	1
	-----	

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1. August 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

10/08/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kanelis, K

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internatio  Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050998

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5980211	A	09-11-1999	JP	3177443 B2	18-06-2001
			JP	9287558 A	04-11-1997
			JP	3118413 B2	18-12-2000
			JP	9291889 A	11-11-1997
			JP	3177448 B2	18-06-2001
			JP	10026083 A	27-01-1998
			JP	3177457 B2	18-06-2001
			JP	10115290 A	06-05-1998
			JP	3177459 B2	18-06-2001
			JP	10122141 A	12-05-1998
			JP	3177460 B2	18-06-2001
			JP	10122142 A	12-05-1998
			CN	1168965 A	31-12-1997
US 5736797	A	07-04-1998	JP	3382061 B2	04-03-2003
			JP	8331826 A	13-12-1996
			CN	1150716 A ,C	28-05-1997
			DE	19621598 A1	05-12-1996
US 2002121816	A1	05-09-2002	US	2005082994 A1	21-04-2005